

ТЕЛЕГИН В.В., канд. техн. наук, доц., ЛГТУ, г. Липецк

### КРИВОШИПНО-ПОЛЗУННЫЙ МЕХАНИЗМ КАК ОБЪЕКТ СИСТЕМЫ *dam*

Рассматривается методика разработки одного из базовых объектов системы динамического анализа механизмов (*dam*) на примере кривошипно-ползунного механизма штамповочного прес-са.

Ключевые слова: механизм, динамическая модель, нагрузка, жёсткость, масса, момент инерции, зазор.

For example of crank-slider mechanism of the forming press, the method of developing one of the basic objects of the system dynamic analysis of mechanisms (*dam*) is considered.

Key words: Mechanism, dynamic model, load, rigidity, mass, moment of inertia, clearance.

Система динамического анализа механизмов (*dam*), разрабатываемая автором, является компьютерной реализацией методов компонентного моделирования и объектно-ориентированных технологий, используемых в задачах исследования динамики механизмов и машин различного назначения [1 – 4]. В её основе лежит идея полной автоматизации построения динамической, математической моделей исследуемого механизма на основе его твёрдотельной модели. Базовыми элементами системы *dam* являются объекты – программные модули, из которых пользователь строит модель механизма и выполняет динамические расчёты [3, 4]. Очевидно, что достоверность полученных в системе *dam* результатов во многом определяются качеством моделей объектов и достоверностью их параметров.

В предлагаемой работе рассматривается методика создания базовых элементов системы *dam* на примере объекта “Кривошипно-ползунный механизм” [5] горячештамповочного прес-са К8544 (см. рис. 1).

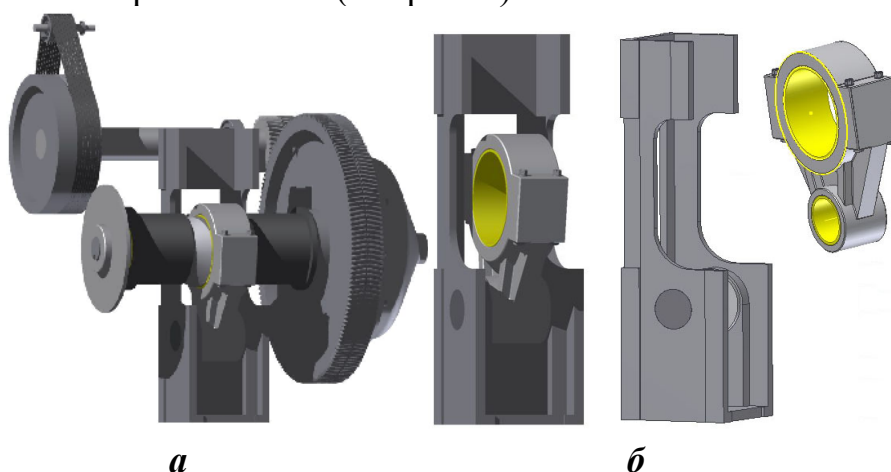


Рис. 1. Твёрдотельные модели: горячештамповочного прес-са (а), объекта “Кривошипно-ползунный механизм” в сборе и его звеньев (б)

Динамическая модель объекта [1, 2] показана на рис. 2. Количество масс модели может варьироваться для звена шатун от одной до трёх, для звена ползун – от одной до двух.

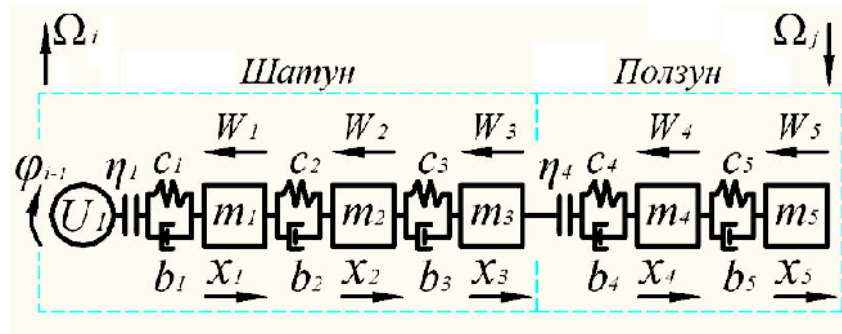


Рис. 2. Динамическая модель объекта “Кривошипно-ползунный механизм”

При разработке динамической модели объекта приняты следующие предположения:

- Входное звено объекта – шатун, моделируется системами масс количеством от одной до трёх и работает только на растяжение и сжатие. Жёсткость первой массы шатуна на растяжение и сжатие может быть различной.
- Второе звено объекта – ползун, моделируется системами масс количеством от одной до двух и также работает только на растяжение и сжатие. Жёсткость первой массы ползуна на растяжение и сжатие может быть различной.
- В соединениях кривошип – шатун и шатун – ползун могут присутствовать зазоры [6].
- Любая из масс модели может быть нагружена силами трения, расчёт которых осуществляется в соответствии с законом Кулона, конструктивными (например, в данном случае, усилие уравнивателей прессы) и технологическими нагрузками (в данном случае, усилие штамповки). Вид зависимостей конструктивной и технологической нагрузок определяется полиномами различной степени. Количество конструктивных нагрузок для каждой массы только одна, технологических – пять (например, одновременная штамповка пяти технологических переходов).

Уравнение движения масс динамической модели (см. рис. 2) запишем в виде [1, 2]:

$$\begin{cases} m_2 \ddot{x}_2 = -c_2(x_2 - x_1) - b_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + c_3(x_3 - x_2) + b_3(\dot{x}_3 - \dot{x}_2) + W_2 \\ m_3 \ddot{x}_3 = -c_3(x_3 - x_2) - b_3(\dot{x}_3 - \dot{x}_2) + c_4(x_4 - x_3) + b_4(\dot{x}_4 - \dot{x}_3) + W_3 \\ m_4 \ddot{x}_4 = -c_4(x_4 - x_3) - b_4(\dot{x}_4 - \dot{x}_3) + c_5(x_5 - x_4) + b_5(\dot{x}_5 - \dot{x}_4) + W_4 \\ m_5 \ddot{x}_5 = -c_5(x_5 - x_4) - b_5(\dot{x}_5 - \dot{x}_4) + W_5 + \Omega_j \end{cases} \quad (1)$$

Входные параметры:

- $\varphi_k, \dot{\varphi}_k$  – перемещение и скорость предшествующего ему  $k$ -го объекта (кривошип);
- $\Omega_j$  – возмущение со стороны  $j$ -го объекта, следующего за

рассматриваемым;

$W_m$  – внешние нагрузки ( $m = [1, 2, \dots, 5]$ ). Это сила, приложенная к  $m$ -ой массе модели.

■ Выходные параметры:

$x_i, \dot{x}_i$  – перемещение и скорость объекта;

$\Omega_i$  – отклик на возмущение предшествующего объекта, равный:

$$\Omega_i = [c_1 (x_1 - U_i(\varphi_k)) + b_1 (\dot{x}_1 - U'_i(\varphi_k)\dot{\varphi}_k)] \cdot U'_i(\varphi_k); \quad (2)$$

Критерии надёжности [2]. Их по десять для каждой массы модели объекта:

1. Максимальное ускорение.
2. Максимальное отклонение ускорения от идеального значения.
3. Среднее значение ускорения.
4. Максимальное отклонение перемещения от идеального значения (точность позиционирования).
5. Среднее отклонение перемещения.
6. Максимальная нагрузка.
7. Средняя нагрузка.
8. Среднеквадратичная нагрузка.
9. Максимальное отклонение нагрузки от её статического значения.
10. Среднее отклонение нагрузки от её статического значения.

■ Свойства:

$n$  – число масс (или сложность) динамической модели (см. рис. 2).

$m_m$  – массы фрагментов звеньев механизма ( $m_m = const$ ).

$c_m, \psi$  – упруго-инерционные характеристики связей, соединяющих фрагменты звеньев ( $c_m \neq const$ ).

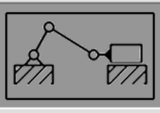
$\eta_i$  – зазор в соединениях рассматриваемого объекта с предыдущим (кривошипом) и в соединении шатун - ползун.

$U_i(\varphi_k), U'_i(\varphi_k)$  – функция положения шатуна и её производная.

Для определения величин  $c_m, b_m$ , а также функций  $U_1(\varphi_k), U'_1(\varphi_k)$  используются зависимости, приведённые в работах [1, 2].

Программная реализация любого объекта системы **dam** представляет две **dll**-библиотеки. Одна из которых содержит расчёт параметров конечно-разностных схем интегрирования уравнений вида (1), вторая – библиотеку ввода и тестирования данных соответствующего объекта.

Объект номер: 005



Механизм кривошипно-ползунный  
центральный.  
Код объекта: 104

Тест  
Целостности Структуры Данных

Упруго-инерционные харак-ки:  
Функции положения:  
Внешние нагрузки:

Начальное положение объекта: 0 градусов

Параметры модели объекта:

Шатун: ☐ 1М ☐ 2М ☒ 3М

Ползун: ☐ 1М ☐ 2М

Выходное звено: ☐ 1-ая ☐ 2-ая

Выходная масса (ползуна): ☒ 1-ая ☐ 2-ая

Динамическая модель    Справка

Сохранить    Выход

Упруго-инерционные характеристики

Функция положения

Внешние нагрузки

**Шатун - Трёхмассовая динамическая модель**

c1с= 373000000000	0.37300 · 10 <sup>+12</sup>	m1= 3613.234	0.36132 · 10 <sup>+04</sup>	ψ1= 0.4
c1р= 35200000000	0.35200 · 10 <sup>+10</sup>			
c2 = 420000000000	0.42000 · 10 <sup>+12</sup>	m2= 312.806	0.31280 · 10 <sup>+03</sup>	ψ2= 0.4
c3 = 235000000000	0.23500 · 10 <sup>+12</sup>	m3= 951.612	0.95161 · 10 <sup>+03</sup>	ψ3= 0.4

Жёсткости на растяжение и сжатие равны - ☐      Без учёта сил диссипации - ☐

**Ползун - Двухмассовая динамическая модель**

c1с= 90000000000	0.90000 · 10 <sup>+10</sup>	m1= 4657.729	0.46577 · 10 <sup>+04</sup>	ψ1= 0.4
c1р= 47000000000	0.47000 · 10 <sup>+10</sup>			
c2 = 73400000000	0.73400 · 10 <sup>+11</sup>	m2= 3349.087	0.33490 · 10 <sup>+04</sup>	ψ2= 0.4

Жёсткости на растяжение и сжатие равны - ☐      Без учёта сил диссипации - ☐

Помощь

Тест Данных

Загрузить из файла

Выгрузить в файл

Описание объекта:

Главный исполнительный механизм кривошипного горячештановочного пресса (КГШП)

Код объекта: 104

Порядковый номер объекта: 005

Рис. 3. Окно определения параметров модели и ввода упруго-инерционных и диссипативных характеристик

Следующие из возможностей определяют типовую структуру интерфейса ввода (см. рис. 3) и тестирования данных (см. рис. 4) объектов системы **dam**:

- Определение числа масс и выходной массы объекта, начального положения входного звена и численных параметров упруго-инерционных и диссипативных характеристик. Тест введённых данных.
- Ввод и тестирование кинематических характеристик объекта и зазоров.
- Ввод и тестирование данных о внешних нагрузках для каждой из масс объекта.
- Возможность сохранения данных по каждому из трёх перечисленных блоков в отдельных файлах и загрузка их при необходимости.

Пригодность любой модели, в том числе и рассматриваемого объекта, должна проверяться по следующим показателям: *физическая адекватность реальному звену или механизму, границы применимости и устойчивость в их пределах*. В первом случае предполагается наличие тестов, позволяющих отследить ошибки при вводе всех параметров модели: кинематических (радиус кривошипа, длина шатуна, характеристики зазоров), данных по нагрузкам (построить графики суммарных нагрузок всех видов и их составляющих), жёсткостей и масс модели (оценить размеры звеньев соответствующие введённым значениям их упруго-инерционных характеристик). Во втором случае должна существовать возможность оценки влияния значения различных параметров (в первую очередь, упруго-инерционных, характеристик зазоров и скорости работы механизма) на величины значений различных типов результатов, получаемых с помощью данной

модели объекта. Другими словами, модель следует считать устойчивой и пригодной к использованию, если незначительные изменения её параметров (например, жёсткости или скорости работы) не приводят к непредсказуемо резкому увеличению каких-то выходных данных (например, значений нагрузок, ускорений). На этапе тестирования объекта это реализовано возможностью построения восемнадцати зависимостей вида **критерий (параметр 1, параметр 2)**. В частности, на рис. 4 приведён результат построения графиков максимальных значений отклонений ускорения 1-ой массы ползуна от значений идеальных, определяемых только кинематикой механизма, при различной скорости его работы и степени износа кинематической пары [2, 6] в соединении *шатун – ползун*.

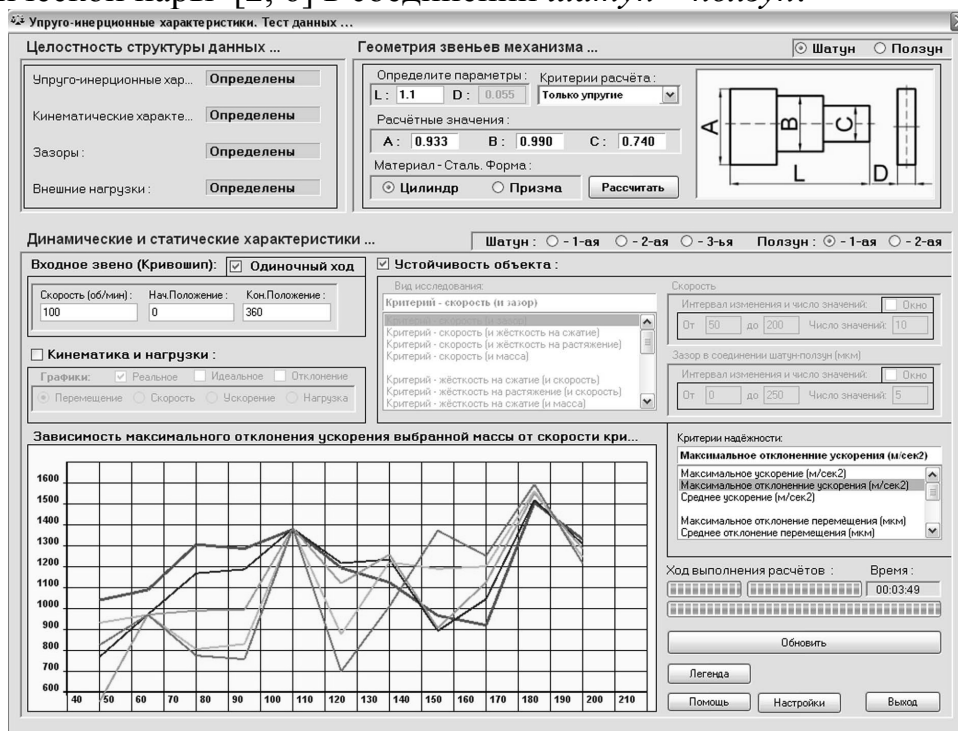


Рис.4. Окно итогового тестирования параметров объекта  
“Центральный кривошипно-ползунный механизм”

**Список литературы:** 1. Вульфсон, И.И. Динамические расчеты цикловых механизмов [Текст] / И.И. Вульфсон. – Л.: Машиностроение, 1976, – 328 с. 2. Телегин, В.В. Динамика механизмов многопозиционных холодноштамповочных автоматов [Текст]: монография / В.В. Телегин. – Липецк: ЛГТУ, 2006. – 204 с. 3. Телегин, В.В. Использование методов компонентного моделирования при решении задач автоматизации динамических исследований механизмов штамповочных автоматов [Текст] / В.В. Телегин. – Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ „ХПІ-2009. -№31. С. 42 – 45. 4. Телегин, В.В. Исследование динамики кривошипного горячештамповочного пресса в системе dam / В. В. Телегин, М. Н. Абдуллах // Естественные и технические науки. – 2010. №4, С. 252 – 257. 5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2010612833 от 31.08.2010. Ввод и тестирование данных объекта "Кривошипно-ползунный механизм" / В. В. Телегин, М. Н. Абдуллах 6. Телегин, В.В., Абдуллах М.Н. Об учёте зазоров в кинематических парах при разработке динамических и математических моделей механизмов быстроходных машин-автоматов [Текст] / В.В. Телегин, М.Н. Абдуллах. // Проблемы исследования и проектирования машин: сборник статей V Международной научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский дом знаний, 2009. С. 78 – 80.

**УДК 621.9.048.4**